

有机质演化与沉积矿床成因 (I)

——煤成烃类与层控矿床

傅家谟 刘德汉

(中国科学院地球化学研究所)

一、有机质演化与煤成烃类

成煤物质被埋藏以后,在其煤化作用过程中可生成大量气体烃(即煤成气)与少量液体烃(即煤成油)。按照B. J. 科兹洛夫计算值一吨煤产生的甲烷量,褐煤阶段为68 M³,到焦煤达270 M³,到无烟煤可超过400 M³。

1. 煤阶与煤成气

成煤物质在煤化作用(变质作用)不同阶段,不仅形成物理、化学、工艺性质很不相同的长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤、无烟煤,而且不同演化阶段生成之气体物质的组成与数量变化甚大。图1系根据苏联顿巴斯煤热模拟实验数据绘制。图中反映在煤化作用早期阶段天然气产量最大(1公斤煤可生成20—70公升天然气),但组成以CO₂为主。甲烷占煤生成气体体积的第二位,以半无烟煤-无烟煤阶段及褐煤阶段最高。气煤至瘦焦煤阶段产出较多的C₂—C₆重烃,甲烷量减少,而在焦煤与焦瘦煤阶段尤其少。

我国一些煤田煤层天然气的组成也反映了这一演化特征。据戴金星报导的资料计算,无烟煤层中气体烃主要由甲烷组成,乙烷以上重烃(C₂—C₈)仅占3.84%(29个样品分析结果),而焦煤与气肥煤层的气体烃中含有较多重烃,分别达25.20%(39个样品)与19.86%(94个样品),C₅—C₈重烃达0.16与1.12%。

2. 煤阶与煤成油

煤在成煤过程中可产生少量液体烃,即煤矿中往往有油苗或油浸砂岩、沥青等分布。我国石炭-二叠系烟煤中即普遍分布此种油苗。在贫煤与无烟煤等高变质煤层中,虽见不到油苗,却可找到它的热变质产物——固体沥青充填于煤层裂缝或微裂隙中。煤成气中有时也伴生少量煤成油,如川中某些香溪煤系气井中产出之凝析油,以及文留气田产出之轻质油等。

煤成油的生成与石油形成阶段大致上相似,即主要在长焰煤至焦煤阶段。但T.G. Power与L. Snowdon认为,煤成油的门槛早于石油,即相当于未成熟阶段或褐煤早期,按镜煤反射率衡量,煤成油的门槛值不是R₀ 0.5%,而可以是R₀ 0.4%或更低。

但是,有趣的是煤抽提物的最大产率出现于R₀ 0.9%,并不比生油岩早。抽提物的演化特点大致上反映了煤成油的特点。当R₀为0.2—0.5%时,正烷烃中C₂₅—C₃₅含量高,

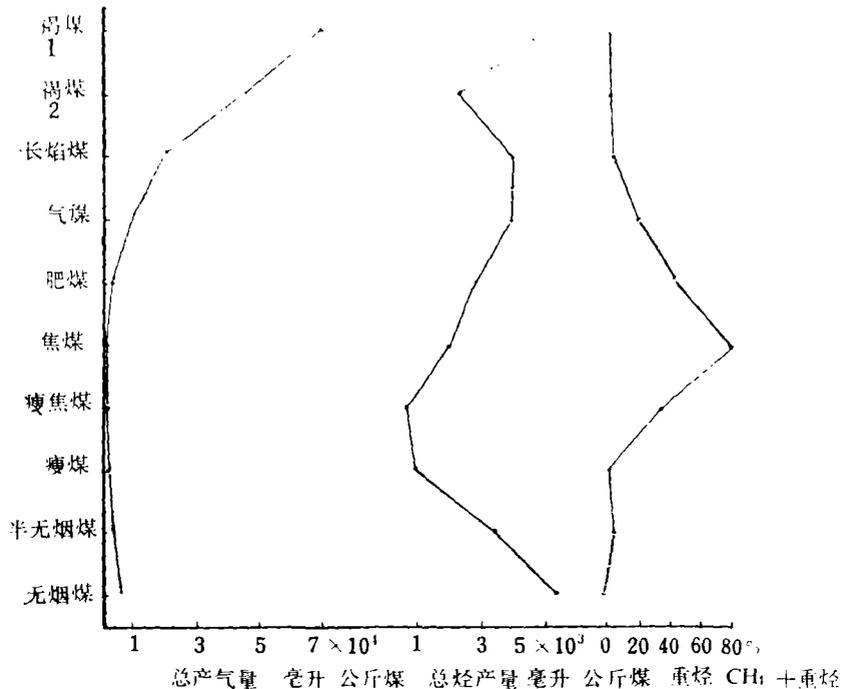


图1 顿巴斯煤在不同煤化阶段气体产量与组成

(据全苏天然气研究所模拟实验数据绘制)

Fig. 1 Amount and composition of gas produced by Dunbasi coal at different coal formation stages

具明显奇偶优势, R_o 由0.5增至1.3%时, 奇碳优势消失, 主峰碳向 C_{20} 左右迁移。链异戊二烯烷烃在 R_o 0.4% 时明显, 在1.2% 时出现高峰, 至无烟煤时消失。五环三萜烷明显出现于 R_o 0.4%, 至 R_o 1.6% (即在无烟煤之前) 消失。

煤成油往往属高蜡原油, C_{22} — C_{35} 正石蜡烃可占有相当高的比例 (在10%以上), 这与我国陆相石油相似, 与陆生高等植物母质的输入有关。

低成熟度高蜡原油随着煤阶增高, 可逐渐演化成为轻质油, 以至凝析油。值得特别注意的是, 煤化过程中可形成一种独特的低成熟的或未成熟的轻质油与凝析油。我国某些低变质煤中已找到了这种独特成因的轻质油。它们产在属于烟煤早期阶段的煤层中, 而不像正常热裂解轻质油, 应该产于烟煤晚期阶段的地层中。

J. Connan和A. M. Cassou于1980年报导了世界上一些未成熟凝析油与干气伴生, 其 R_o 仅为0.2—0.8% (0.3—0.6为主)。这种凝析油的姥鲸烷/ nC_{17} 比值常大于1.0, 伴生气的 $iC_4/nC_4 > 0.80$ 。

3. 煤成烃类的演化阶段及影响演化的因素

煤成烃类大致可以划分为三个阶段, 即最初甲烷气阶段、湿气阶段与最终甲烷气阶段 (图2)。甲烷气阶段大体上相当于褐煤阶段, 代表甲烷气生成的第一次高峰期,

其下界比生油岩的要低一些，在此阶段的后期可能产出低成熟、未成熟的轻质油与凝析油。湿气阶段常伴生少量的原油，早期多是低成熟的高蜡原油，晚期多为高成熟轻质油。高蜡原油的门槛值可能略低于典型腐泥型生油岩的门槛值。甲烷高峰阶段则代表了煤成甲烷气的第二高峰期。

与石油演化相似，影响煤成烃类演化的因素主要是古地温、时间和原始母质类型。很可能母质类型在煤成烃类演化中起着重要的作用，即影响着演化产物的数量与组成。至少在煤成液体烃的演化上已反映了这一特点。

煤成气 演化阶段	石油 演化阶段	煤化作用 阶段	煤成烃类的演化		镜煤 反射率 R_0 %
			液体烃	气体烃	
甲烷气阶段	最初甲烷气阶段	软褐煤			0.5
	低成熟原油阶段	硬褐煤			
长焰煤					
气煤					
湿气阶段	高成熟原油阶段	肥煤			1.3
		焦煤			
		瘦煤			
甲烷峰阶段	最终甲烷气阶段	贫煤	1.5		
		半无烟煤			
		无烟煤			

图2 煤成气阶段的划分

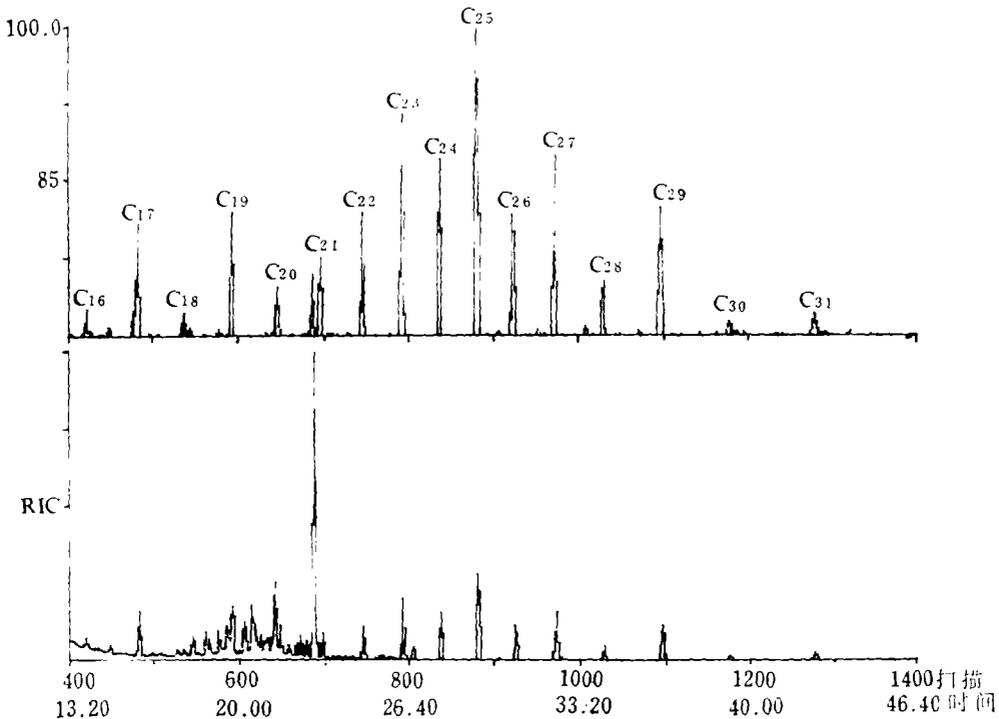
Fig.2 Division of gas formation from coal

演化程度相似，煤岩组成不同时其烃类组成可能差别甚大。下述澳大利亚悉尼盆地两组煤岩组成不同之样品的研究结果及我国抚顺树脂煤研究结果都充分说明了这个问题。

澳大利亚悉尼盆地第一对煤样的镜煤反射率 R_0 均为0.7%，两个煤样的煤岩组成：镜质组、壳质组、惰性组分别为29:9:62与16:58:26，前者抽提物的烷烃组成具有明显奇碳优势，高碳部分达 C_{30} ，而后者无奇碳优势，碳数明显前移。另一对煤样的镜煤反射率 R_0 均为1.3%，其煤岩组成比例分别为21:0:79与98:0:2。前者正烷烃具偶碳优势，

nC_{22} , nC_{24} 与 nC_{28} 含量较高,而后者无此种优势,主峰碳为 C_{23} 。

我国抚顺树脂煤等研究结果表明,某些特种煤岩组分在演化中可生成大量特殊的烃类,如煤中的树脂体在低演化阶段可以产生大量轻质油。该树脂体当其产层的镜煤反射率 R_0 为0.61—0.64%时,其抽提物达58.53%,将其加热300℃,三小时后,镜煤反射率 R_0 增高到0.72—0.77%,抽提物也显著增高,达74.37%。且抽提物主要由低分子烃类组成(图3)。



上图: m/e 85质量色谱图,正烷烃分布情况表明具有明显奇偶优势。

下图:总离子流图,除正烷烃外,尚含大量环状烃类化合物。

图3 抚顺树脂体质量色谱图

Fig. 3 Mass chromatogram of Fusuan resinite

Upper: Mass chromatogram of m/e 85 showing OEP of n-alkanes

Lower: RIC spectrum showing n-alkanes and cyclic alkanes

二、有机质演化与层控矿床

沉积岩中有机质在其演化的一定阶段可以转化出大量可溶有机质。这些可溶有机质富含烃类,经原生运移与二次运移,可以在有利条件下聚集形成工业油、气藏,成为一种典型的后生矿床。层控矿床中的沉积改造矿床也是一种带有明显后生特点的矿床,在生成阶段上多与油气演化晚期阶段相当。中国南方广泛发育的一些既是矿源层又是生油层的海相黑色岩系,其有机质成熟度已普遍处于油气演化的晚期阶段,油气演化产物与

某些沉积改造矿床在空间分布上关系密切。因此探讨二者的成因关系可能为沉积改造矿床与演化晚期的油气藏，特别是在碳酸岩地区为研究这些油气藏的分布规律提供一条新的途径。

1. 改造作用与油气演化

“沉积改造矿床，系指某些沉积矿床或矿化地层在形成或固结后转入地下，在不太大的深度和温度下受到另一次或多次地质作用的影响，发生脆性变形，产生断裂、破碎、层间破碎、褶皱、裂隙带、角砾化带等，同时或稍后，成矿物质发生重结晶、溶解、搬运、重新凝成矿。成矿物质的转移可以是部分或全部”（涂光炽，1981）¹⁾。

沉积改造矿床的改造在这里是专指矿床或矿化地层在固结后，在沉积变质矿床的“变质”之前，所受到的主要在脆性变形范围内的改造。因此沉积改造矿床的这一改造作用在时间上恰好与石油的生成、演化阶段相当。石油的生油门槛处于晚期成岩阶段之始或后生作用之初，而石油演化则发生在之后的整个晚期成岩阶段或后生阶段加变生阶段。

生油门槛的温度在地热梯度相当情况下，取决于干酪根类型与地质时间等。时间愈长，门槛温度愈低。据B·P·蒂索等人资料（1975年），美国洛杉矶上第三系（3.5千万年）为70℃，巴黎盆地下侏罗统（1.8亿年）为60℃，而西加拿大的上泥盆统为50℃。我国东部老第三纪盆地，如华北油田的门槛温度定为95℃，大庆白垩系沉积盆地为60℃，原油破坏温度为120℃。W·C·普西第三提出的“液体窗”一般温度范围为66.6—148.9℃。涂光炽指出，沉积矿床的改造作用发生于低温条件下，温度范围是100—300℃或略高。沉积-轻微改造矿床的温度稍低，而沉积-强烈改造矿床的温度稍高，一般<300℃—400℃。中国南方沉积改造矿床地层时代主要在中生代以前，强烈改造时期一般都在燕山期。因此按石油生成演化的温度-时间来衡量，南方沉积改造矿床，特别是沉积-强烈改造矿床的具体形成阶段已处于石油演化晚期，即轻质油或油裂解干气阶段。因此，与沉积-改造矿床共生的有机质主要是石油演化晚期的产物——大量固体沥青与天然气（天然气因不易保存，大部分已散失了）。

2. 矿源层与生油岩

生储盖组合决定油藏的形成与空间展布，也决定原油在储层中的演化。层控矿床同样具有它自己的“生、储、盖”组合，即矿源层、容矿层与盖层。由于储层或容矿层往往是孔隙或缝洞发育的一定沉积层，金属矿与油气都受控于一定地层层位，及其岩性、岩相变化情况。油气圈闭包括构造圈闭、地层不整合圈闭、岩性圈闭等，尤为重要是构造圈闭。沉积改造矿床同样也受构造圈闭制约。一些活泼元素（如H_g、S_b、A_s、U、Mo、有时还有Cu、P_b、Z_n等）的沉积改造矿床，特别是大型矿床，常与背斜有关，矿体常产于背斜轴部、近轴两翼、背斜倾没端或转折处、背斜与断层或破碎带的复合处等。这种赋存机理与油气在背斜轴部富集机理是相似的²⁾。

油气与金属物质分别来源于生油岩与矿源层。金属一般较难迁移，因而多为就近、

1) 涂光炽，1981，初论沉积改造矿床。《中国层控矿床地球化学研究》，中国科学院地球化学研究所主编，1—4页。

2) 涂光炽，1981年，活泼元素的沉积改造矿床，沉积变质矿床与背斜，铁的沉积变质矿床与向斜，《中国层控矿床地球化学研究》，中国科学院地球化学研究所，4—5页。

就地来源。

中国南方广泛发育震旦系至古生界黑色岩系，包括各种富含碳泥质的黑色页岩、硅岩与灰岩。有机碳含量多数在 1% 以上，有机质类型除二叠系煤系地层以外，属于腐泥型或腐泥-腐殖型，为良好的生油岩。同时这些黑色岩系普遍含有金属元素，常常局部构成矿化地层，以至富集为沉积矿床，是良好的矿源层。

湘、赣、浙、黔、滇发育的下寒武统黑色岩系即是一典型例子。据范德廉等人研究，这套岩系主要由黑色炭质页岩、黑色炭泥质硅质岩和黑色炭质硅质岩组成，其中赋存有很厚的石煤层、磷块岩层、黑色页岩型钨矿层和镍钼多元素富集层。岩石碳含量很高，一般为 5—10%，有时接近 20%。黑色岩系中的物质来源是比较复杂的，造岩物质主要来自大陆风化壳，造矿物质主要来自热齿水及海底火山喷发。

表 1 说明，这套黑色岩系与美国黑色页岩 (Vine, J.D, et al, 1969) 相似，普遍富含微量元素。其中 Zr、Y、Yb、Ba、Ag、V、Mo、Ni 不仅高于页岩平均值，也高于美国黑色页岩，特别是 Y、Yb、Ag、V、Ni、Mo 含量有时超过页岩平均值的几倍到几十倍。

3. 热变沥青与沉积改造矿床

油气演化晚期阶段的产物是，大量干气、固体沥青与极微量液态烃类，演化最终阶段可以完全没有液态烃类，而只有甲烷气和碳沥青。川南三叠系、二叠系与震旦系油气藏产出特点表明，固体沥青大量出现石油下限处。该剖面的下限位于三叠系与二叠系之

表 1 各地区黑色页岩中的微量元素 (据范德廉等)

Table 1 Abundance of trace elements in black shales of various areas (according to Fan Delian et al.)

地区及岩石	元素含量																	
	ppm	Co	Pb	Mn	Ga	Zr	Ti	Cr	Sr	Zn	Cu	Y	Yb	Ba	Ag	V	Mo	Ni
湘 西	9	12	41	4	80	1450	125	111	—	187	80	30	1520	1	417	160	160	
湖 南 某 地	7	27	10	22	170	3100	230	230	—	230	160	15	5500	3	25	23	80	
江 西	3	6	40	6	70	3020	97	40	92	83	34	1	2220	0.3	395	58	72	
浙 江	6	11	—	—	—	900	—	160	175	54	100	7	165	—	361	64	120	
页岩平均值 ¹⁾	19	20	850	19	160	4600	90	300	95	45	26	2.6	580	0.07	130	2.6	68	
页岩平均值 ²⁾	20	20	670	30	200	4500	100	450	80	57	30	3	800	0.1	130	2	95	
寒武—奥陶 ³⁾ 纪黑色页岩	11	13	100	22	100	2200	65	89	—	54	17	1.8	430	0.76	230	4.8	35	

1) K.K. 图雷基安等, 1961。

2) A.И. 维诺格拉多夫, 1962。

3) J.D. 维奈等, 1969。

间。三叠系产出轻质油与大量天然气，岩石中很少见到固体沥青，而二叠系与震旦系仅产出天然气，岩石孔隙与缝洞中存在许多固体沥青 (图版 I, 1)。钻井过程中甚至喷出碳渣，即固体沥青。一般天然气和液态烃类易于散失，但往往可以保存在某些矿物包

裹体中, 而固体沥青则比较容易保存下来。因此, 岩石矿物中的碳沥青和有机气、液包裹体乃是指示油气演化晚期阶段, 尤其是干气成因的重要标志, 同时也是研究沉积改造矿床的重要依据。

1) 固体沥青的成因分类

按照物质来源、主要形成阶段与环境, 可以将固体沥青划分为三大成因类型:

同生-成岩沥青 主要形成于同生至成岩作用阶段。在岩层中同生沥青多呈均匀分散状, 成岩沥青主要包括各种细小的晶间沥青、化石体腔中的沥青及部分缝合线中的沥青等。此类沥青主要产在母岩中, 生油层内沥青代表死油苗热变产物, 沥青物质为就地或就近取材, 因此沥青的含量有限, 数量应少于原岩有机质总量。

后生(改造)沥青 主要形成于成岩后生阶段或沉积改造阶段。此类沥青有远近不等的迁移现象, 主要产于油气藏的储层中, 故又称储层(热变)沥青, 或产于沉积改造矿床的容矿层中。沥青物质通常通过类似于原油初次运移与二次运移的方式而富集于储层中, 因此其数量往往可以很多, 与沉积岩原始有机质在数量上无内在联系。这类沥青在油水比大的环境中往往形成不规则状沥青, 如各种岩石孔隙中的典型储层沥青。当油水比甚小时, 常生成浑圆状、球粒状、螺旋柱状沥青, 类似水热变质沥青(图版 I, 2)。

表生沥青 形成于表生成岩阶段, 油藏因构造作用破坏, 原油大规模溢出, 脱气生成沥青, 故又称脱气沥青。此类沥青常成脉状不规则状和似层状。有时规模较大, 可作为沥青矿或“煤”矿开采利用。

中国南方碳酸盐中常见的沥青为上述的前两类, 即石油地质工作者以往称的原生沥青(生油层沥青)与次生沥青(储集层沥青)。

2) 沥青的元素组成特征

沥青中常常含有许多金属元素以至某些金属矿物, 它既说明了沥青的性质和类型, 又说明了金属矿的成因。

根据我国部分地区原油和沥青的分析结果, 大致可以看出以下元素组合特征。由中、新生代陆相深灰色泥岩来源的原油和沥青主要富 Ni 少 V。由古生代海相黑色页岩来源的沥青, V、Ni、Cu、Mo、U、P、S 等元素含量往往比较高。而古生代海相碳酸岩地层来源的原油与沥青, 一般金属元素的种类和含量都较泥页岩来源的少, 仅 V、S 含量较高。

金属与原油、沥青的共生还说明了这些可溶有机化合物在这些元素迁移、聚集中的可能作用。当各种烃类物质从母岩向储集层运移聚集时, 某些金属元素可以金属有机化合物, 如金属卟啉或有机金属络合物形式共同迁移。如目前原油、沥青中常见之 V、Ni、Mo 等, 可能主要是以这种方式来自母岩。例如胜利油田原油的 Ni 卟啉含量可高达 1474—5910 ppm, 此外油灰中还普遍含 Mn、V、Zn、Pb 等多种金属。在母岩中当分散干酪根因热力作用而发生热解-聚合反应时, 沉积物中某些比较活泼的金属以及与有机物质整合或吸附的元素, 例如 Hg、Sb、U、Cu、V、Ni、Mo 等也将会发生局部改造, 一部分被迁移出去, 一部分残存于母岩和同生-成岩沥青(原生沥青)中。

迁移出来的部分金属随着可溶有机质以类似于原油初次运移的方式进入储层, 并在以后的热变质过程中在一定条件下沉淀出来, 或与后生沥青紧密共生, 或与后生沥青分离, 其产出形式主要取决于它们的物质来源与生成条件。来源相同且温度等生成条件与

热演化阶段的沥青类似者,二者紧密共生。例如原油中比较普遍存在的V、Ni卞啉等金属有机化合物,在原油受热力作用下,分解出来的V、Ni等金属元素,在新的体系中可能与沥青中的硫或氧等重新结合在沥青中形成比较稳定的化合物。在广西上林、河池就发现了碳沥青中包含析离状均匀细分散(1—8 μ)的针镍矿、紫硫镍矿、黑铁钒矿、六方氧钒矿等彼此紧密共生的碳沥青钒、镍矿石,可能就是这种成因的实例。

石油初次运移是与油田卤水运移相伴发生的。因此,某些金属可能主要以金属无机化合物、无机络合物及有机络合物形式随同这种高盐度油田水运移到储层中。与古油藏共生的汞矿就是一个很好的例子。实际上这是一种“汞-油型”矿床。由于来源相同,且辰砂形成最佳温度为190℃¹⁾,与储层沥青大量生成温度相近,因此,目前看到的不是汞-油共生,而是汞-后生沥青紧密共生。铜仁大洞喇、凤凰茶田等汞矿中的沥青,经初步研究反射率在2.79—3.51%,经受的最大古地温在185—197℃左右,沥青中含汞、锌等金属元素较高,Hg达67ppm,Zn 200ppm。

当然,也可能在某些情况下,沥青与金属来源不同,时期不同,仅仅是共享储集空间与圈闭条件而共生在一起,这种共生往往是不紧密的,沥青与金属矿物在空间与成因世代上往往无规律性联系。沥青等有机物质可能提供还原环境而促使金属的沉淀与聚集。

3) 后生沥青热演化与沉积改造矿床

有机质与金属矿物共生可以说明金属矿的形成温度与成矿阶段。D. Saxby 1976年曾总结了某些Cu、Pb、Zn矿石有机质演化与金属的关系。红海沉积富含Zn、Cu硫化物,有机质H/C之比达10,成熟度低,形成温度为62—104℃,而麦克阿瑟·里弗、蒙特·伊莎,布罗肯·希尔代表了三个成矿阶段,时代为前寒武纪。麦克阿瑟·里弗为同生Cu-Pb-Zn矿,有机质处于高挥发分烟煤阶段,温度未超过100℃。蒙特·伊莎与布罗肯·希尔的有机质分别属于无烟煤与石墨阶段,表明矿石经过明显改造。

沥青对热变质作用比较敏感并具有不可逆性。因此仔细研究各期后生(改造)沥青的结构构造和变质过程中的物理化学性质变化规律,不仅可以帮助我们划分沉积改造矿床成矿期,而且还可以大致推算它们经受过的最大温度。随着沥青热变质程度增加,H/C原子比降低,反射率(R₀)增加,碳原子面网间距d₀₀₂减小。根据后生沥青的反射率,中国南方层控碳酸岩矿床可按演化程度排列如次:Hg矿(R⁰2.74—3.51%),黄铁矿(R⁰4.1%),Pb-Zn矿(R⁰4.0—4.3%),Sb矿(R⁰4.66—6.50%),Sn矿(R⁰6.45%),见表2。

沥青变质程度与温度关系,在一定条件下还取决于受热的时间,关系比较复杂。我们一方面根据 $\log t = 218.5E/T - B$ 的时间-温度函数曲线的变化规律,另一方面也结合沥青人工模拟试验结果和部分地温实测资料,推算了部分层控金属矿床中沥青的受热温度。例如丹寨汞矿有两类明显不同的沥青,一种最大反射率在2.85—2.90%左右,结构比较均一的沥青,主要分布在矿层附近与辰砂共生紧密;另一种平均反射率在3.4%左右,具有弱微粒嵌晶结构的沥青,主要分布在硅化碳酸岩中,有时见与闪锌矿共生。根据以上原则推算,第一类沥青经受的温度在170—180℃左右,第二类沥青经受的温度

1) 张宝贵,梁伟义,1981年,中国层控汞、铋矿床的地球化学。《中国层控矿床地球化学研究》,中国科学院地球化学研究所。

表2 层控矿床中沥青反射率及推算的最大古地温
Table 2 Reflectivity of asphalt and deduced paleo-geotemperature
of strata bound ore deposits

产 地	矿 种	时 代	围 岩	反 射 率 R° %	光 性 特 征	推 算 温 度 C°
云南兰坪	Pb, Zn	K	碳酸岩	0.50	均 质	80
贵州天柱	Au	Pt	石英脉	1.31	"	120
云南年定	Cu	K	砂 岩	1.44	"	125
贵州丹寨	Hg	E ₂	碳酸岩	2.74	"	175
贵州丹寨	Hg	ε ₂	"	3.27	弱非均质	180—185
贵州铜仁	Hg	ε ₂	"	3.03	"	185
湖南凤凰	Hg	ε ₂	"	3.51	"	185—190
贵州赫章	FeCO ₃	ε ₂	"	3.65	"	187
广东梵口	Pb, Zn	D ₂	"	4.00	"	195
广东英德	Fe ₂ S ₂	D ₂	"	4.10	非均质	200
湖南锡矿山	Sb	D ₂	"	4.7—5.5	"	215—230
黔 南	Au	T	砂质页岩	4.30	"	240
广西上林	V, Ni	D ₂	黑色页岩	5.57	"	230
广西河池	V, Ni	D ₂	"	5.98	"	235
云南东川	Cu	Pt	浅变质岩	4.8—6.2	强非均质	210—240
广西大厂	Sn	D ₂	硅 酸 岩	6.45	"	250

≥220℃¹⁾。

4. 与油气共生之矿床实例

1) 四川金口河水晶矿

金口河水晶矿产于震旦系灯影组的白云岩中, 上覆之下寒武统黑色页岩既是一良好盖层, 也可能是一好的油源层。对水晶矿周围固体沥青分布的规模未做专门调查, 因此

1) 刘德汉、傅家谟、贾蓉芬, 1981年, 碳酸岩中沥青的生成、演化与金属元素富集的关系。

不能确定是否有过工业规模的油气聚集,但是从下述现象表明,水晶成矿作用中烃类的普遍参与是无疑的。

在粗的或细的石英晶体中常常包含许多气体、液体和固体沥青包裹体(图版 I, 3、4)。有机气体包裹体经色谱鉴定主要是甲烷。包裹体爆破后经气相色谱与裂解色谱分析结果表明,正烷烃组成类似于高成熟度的岩石有机质或轻质原油。固体有机包裹体主要为碳沥青,加热至900℃前无裂解物产生(图4)。石英晶体中包裹的碳沥青 R^0 为4.5%以上,X-射线衍射分析计算的碳原子面网间距 d_{002} 为3.4703 Å,表明热成熟度高。包裹体均一化温度160—250℃,平均为220℃。

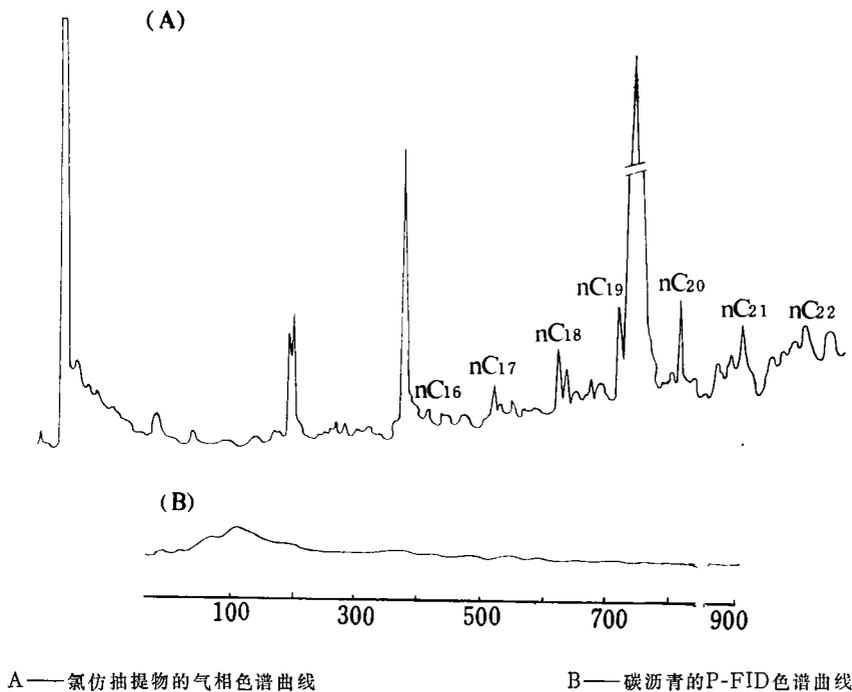


图4 四川金口河石英晶体中有机包裹体的色谱图

Fig. 4 Chromatogram of organic inclusions in quartz, Jingkouhe, Sichuan Province

A---Gas chromatogram of chloroform extracts

B---P-FID chromatogram of anthraxolite

以上事实说明,震旦系含硅岩层在后期水热改造过程中,大量石英晶体形成的同时也伴随围岩中富含有机质的岩石产生出大量的烃类,因此它们在有利的储集空间往往紧密共生,甚至烃类和沥青被包裹在水晶中。

2) 铜—汞矿带

此带产出了我国几个最重要的汞矿床,这些矿床有一共同特点,即富集汞矿的中寒武统傲溪组 ϵ_2^2 的容矿层或储层中固体沥青分布较广而且数量比汞矿多,估计含量可能在岩石体积的0.1%以上,根据矿带平均厚度与分布面积推算沥青总量不小于几千万吨。如

果再根据沥青在油气演化中的大致比例推算矿带内原始石油总量可达几亿吨。因此铜(铜仁)凤(凤凰)汞矿带不仅是我国最重要的汞矿基地,而且在地质历史中还曾经是一个大型的含油带。

在矿层或矿体中沥青与汞矿物——辰砂往往紧密共生或相互穿插,从结构、构造特征来看它们生成的时期比较相近。这种现象也正是由于沥青经受的最大热成熟温度(据沥青反射率测定数据2.79—3.08%推算为185℃±)与辰砂生成最佳温度比较相近的结果。

本区如此大量的金属元素汞与原油是从何处来的?图5、6表明,本区柱状剖面上产出四个黑色岩层,其汞含量在0.9ppm以上。在主要含矿层的上下都有黑层,含矿层中也夹黑色页岩,在赋矿的纹层状白云岩中有时也含较多的有机质,其汞的背景值均有所增高。

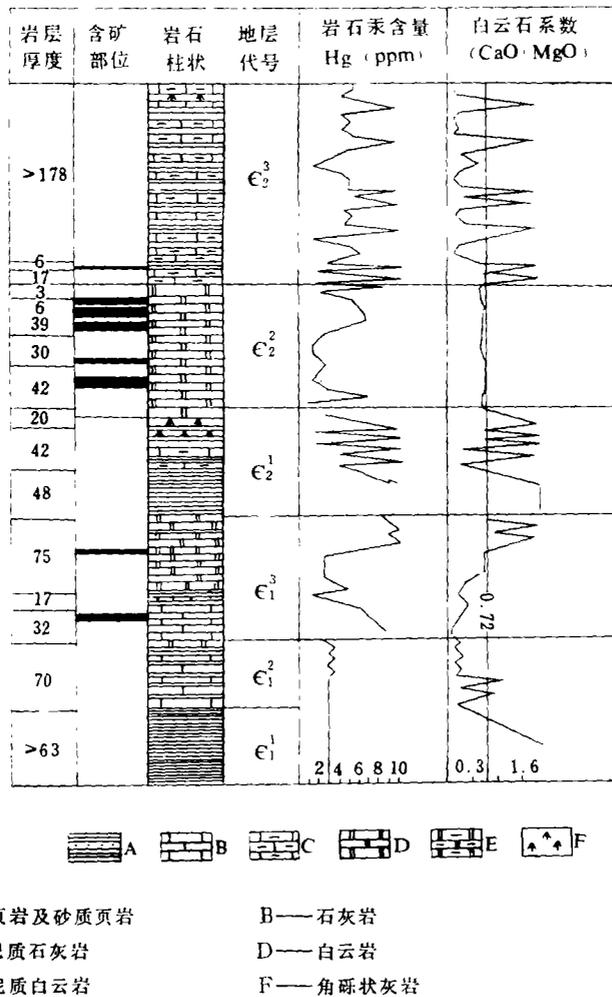


图5 万山地区寒武系地层Hg的背景含量

Fig. 5 Background content of Hg in Cambrian strata of Wanshan area, Guizhou Province

A—Shale and silty shale; B—Limestone
 C—Clayey limestone; D—Dolomite
 E—Clayey dolomite; F—Brecciated limestone

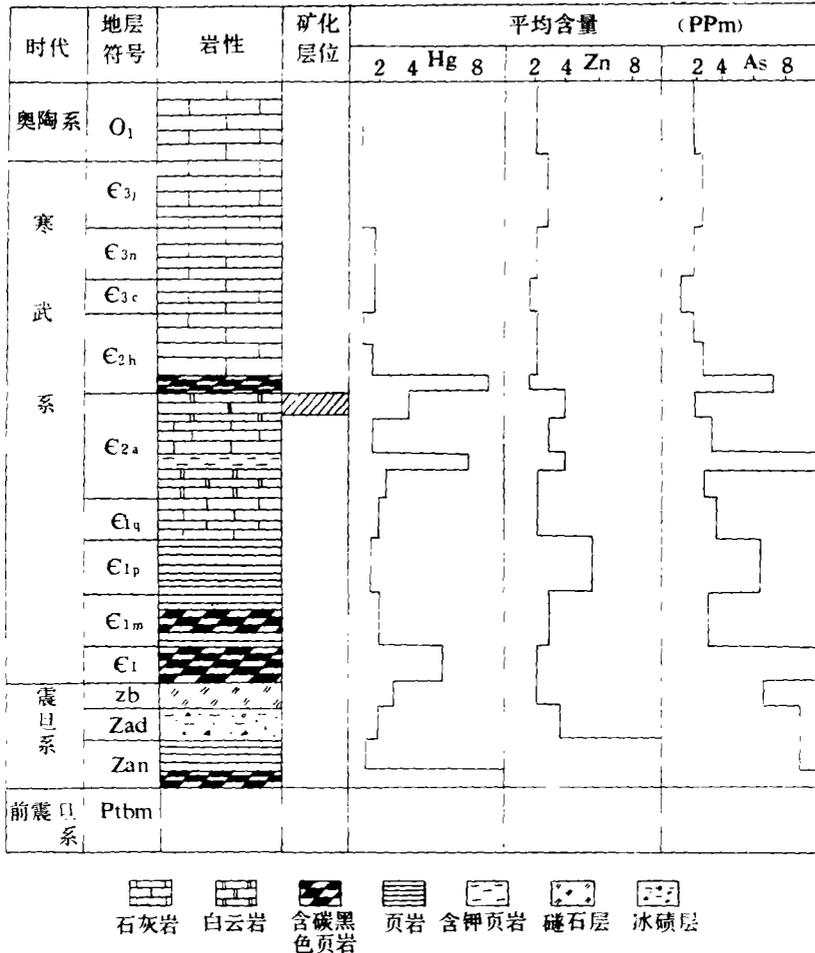


图6 黔东南地区各时代沉积岩Hg、Zn、As元素背景含量¹⁾

Fig. 6 Background contents of Hg, Zn, As in the sedimentary rocks of various ages, Eastern Guizhou

黑层富含之有机质无疑应属腐泥型(寒武纪仅有水生生物), 是良好的生油岩。

主要含矿层上下之黑色岩层可能既是矿源层又是生油层, 即汞油同源。汞的运移聚集与油的生成及早期运移相当。沥青反射率测温结果表明了经受的最大古地温与汞成矿温度大致相同, 因此研究汞与沥青的关系不仅可以帮助恢复古地温史, 确定成油期与汞的迁移期, 以及沥青生成期与汞矿形成期, 而且还可以根据本区油气生成、聚集和演化规律指导汞矿普查勘探工作。

工作中曾得到涂光炽教授的指导; 贾蓉芬参加野外工作与室内分析实验。在矿区地

1) 胡克昌、王华云, 1981年, 黔东南地区层控汞矿的岩相控制条件及矿源层初探。

质考查中得到贵州地质局103队王华云、陈宏祺，湖南地质局405队庄汝礼等的帮助。陈先沛、汪本善审阅全文，提出宝贵意见，谨此一并致谢。

(收稿日期：1983年3月7日)

参 考 文 献

- 戴金星，1980，我国煤系地层含气性初步研究。《石油学报》，第1卷第4期。
- 傅家谟、汪本善、史继杨、贾蓉芬、盛国英，1983，有机质演化与沉积矿床成因(Ⅰ)——油气成因与评价。《沉积学报》第一卷，第3期。
- 杨万里、李永康、高瑞祺、郭庆福，1981，松辽盆地陆相生油母质的类型与演化模式。《中国科学》，第8期，1000—1008页。
- 范德廉、杨秀珍、王连芳、陈南生、肖学军，1981，南方几省下寒武统黑色岩系及层状多元素富集层。《沉积岩石学研究》，科学出版社。
- 刘德汉、周中毅、贾蓉芬、李文英，1982，碳酸岩生油岩中沥青变质程度和沥青热变质实验。《地球化学》第3期237—243页。
- 刘德汉、林茂德，1983，碳沥青中几种钒、镍矿物的发现和成因讨论。《中国科学》，即将出版。
- Saxby, J. D., 1976, 有机物质在矿床成因中的重要意义。《层控矿床和层状矿床》，第2卷，89—108页，地质出版社，1980。
- 汞矿地质与普查勘探编写组，1978，汞矿地质与普查勘探。地质出版社，169页。
- Tissot, B. P. and D. H. Welte, 1978, *Petroleum Formation and Occurrence*, Springer-Verlag, Berlin.
- Hedberg, H. D., 1968, Significance of High-Wax Oils with Respect to Genesis of Petroleum, *Bull. of AAPG*, v.52, N. 5, P. 536-750.
- Connan, J. and A. M. Cassou, 1980, Properties of Gases and Petroleum Liquids Derived from Terrestrial Kerogen at Various Maturation Levels, *Geochim. Cosmochim. Acta*. v. 44, N. 1, P. 1—23.
- Philp, R. P. and J. D. Saxby, 1969, Organic Geochemistry of Coal Macerals from the Sydney Basin (Australia), *Phys. and Chem. of the Earth*, v. 12, p. 639—651.
- Vine, J. D. and E. B. Tourtelot, 1969, Geological Investigation of Some Black Shales and Associated Rocks, *Bull. of U. S. Geol. Surv.*, 1314-A.

EVOLUTION OF ORGANIC MATTER AND ORIGIN OF SEDIMENTARY DEPOSITS(II) ——HYDROCARBONS ORIGINATING FROM COAL AND STRATA-BOUND DEPOSITS

Fu Jiamo

Liu Dehan

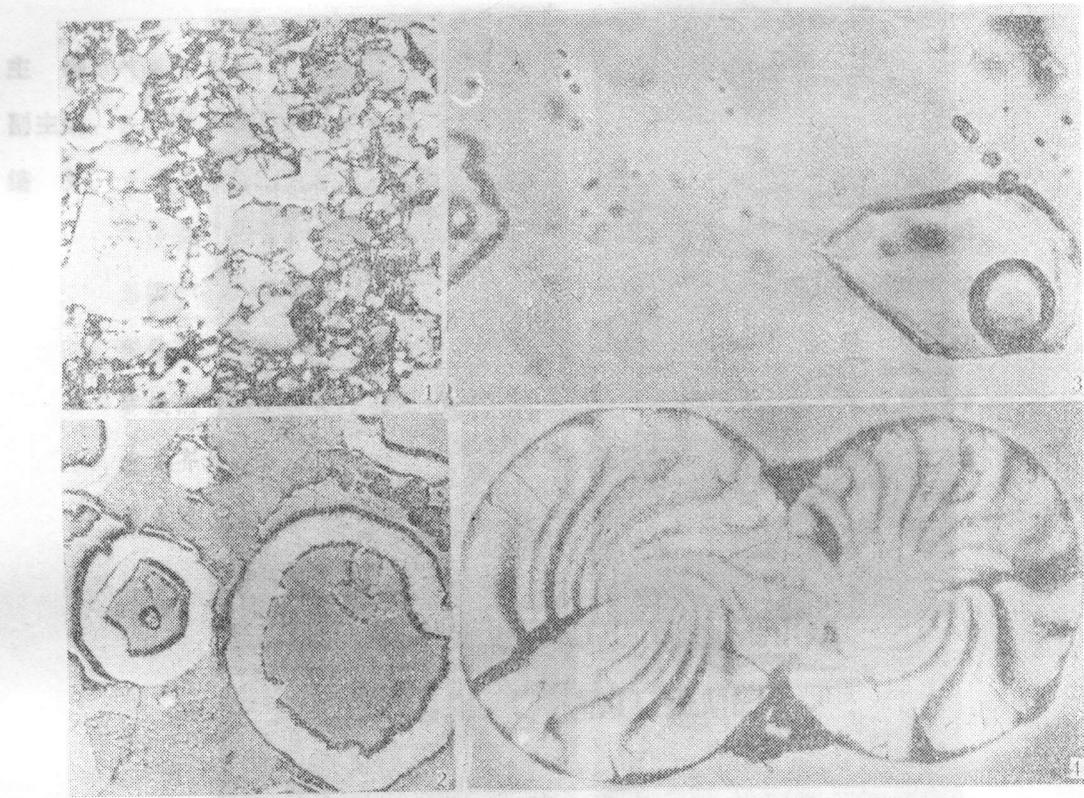
(Institute of Geochemistry, Academia Sinica)

Abstract

According to the domestic and foreign data and experimental results obtained

from analysis, brief discussion have been given on the amount and characteristics of gas and liquid hydrocarbons produced by organic matter of coal-bearing strata during the different stages of coal formation, as well as the effect of macerals upon nature and composition of the products. In differentiation from hydrocarbons produced by source rocks, the liquid hydrocarbons originating from coal are composed of special oils, such as high wax oil and low mature light oil, especially the latter does not exist in hydrocarbon originating from oil. The oil formation threshold depth of high wax oil is usually deeper than, but the threshold depth of low mature oil is shallower than that of typical sapropelic source rocks. All these characters are controlled by the nature and composition of macerals. Large amount of light oil rich in terpanes is produced from Fushun resins of low maturity in heating experiments. A scheme diagram of evolutionary stages of coal gas has been proposed.

The relationships between pairs as reformation process and evolution of petroleum, metallic source strata and source rocks, host rock strata and reservoir rocks, migration of metallic elements and that of petroleum have been discussed in terms of primary study of organic matter and lots of asphalts associated with some strata-bound ore deposits, as well as two examples of strata-bound ores. Solid asphalts can be divided into syngenetic-diagenetic asphalts, epigenetic (reformational) asphalts and hypergenetic asphalts. Epigenetic asphalts are also called reservoir (thermal metamorphosed) asphalts, representing one of the two thermal metamorphosed end products of oils within reservoirs. The significance of the study on origin of paleo-oil traps (thermal cracking methane gas field) and certain strata-bound ores has been discussed briefly. It has been proposed to predict the intensity and history of reformation process of strata-bound ores by the study of nature, composition and evolutionary stage of organic matter and different kinds of asphalt in the ore deposits.



1. 碳酸岩孔隙中的储层沥青（白色）（光片×200）。
2. 碳酸岩中的球状水热变质沥青（光片×100）。
3. 四川金口河石英晶体中的气液包裹体（薄片×130）。
4. 四川金口河石英晶体中的螺旋柱状碳沥青（光片×50）。

Diag. Chuangpu
 Fang Yosen Fe
 Baojun Yan Q
 Zhang Jiqing
 Yingtai Chen
 Fan Pu Fan
 Yunshan Qiao
 Hai Rongyao Zeng

1. 碳酸岩孔隙中的储层沥青（白色）（光片×200）。

2. 碳酸岩中的球状水热变质沥青（光片×100）。

3. 四川金口河石英晶体中的气液包裹体（薄片×130）。

4. 四川金口河石英晶体中的螺旋柱状碳沥青（光片×50）。